

他動的関節トルクの臨床的計測 Clinical Measurement of Passive Joint Torque

平 岡 浩 一

Abstract

The purpose of this study was to evaluate intra-rater reliability, validity and responsiveness of the clinical measurement for joint torque. Intra-rater reliability was calculated from test-retest conditions. The results demonstrated a significant correlation among the joint torque values between test and retest conditions, which further indicated sufficient intra-rater reliability of the clinical measurement. The validity was also ensured, since there was a significant relationship between the values of joint torque and range of motion that indirectly represented joint torque. Measurement of the joint torque after intervention, which might have reduced joint torque, revealed significantly lower values compared to that measured before the intervention, although the difference of the joint torque between test-retest conditions was not significant. These results suggested responsiveness of the clinical measurement for joint torque. Therefore, the clinical measurement for joint torque evaluated in this study was considered to be reliable, valid and responsive to assess joint torque in clinical settings.

Key Words: passive joint torque, spasticity, outcome measurement, reliability, validity

1 緒言

理学療法場面において関節およびその周囲の軟部組織の評価は重要である。中枢神経疾患の理学療法評価における筋緊張(筋stiffness)の計測方法としては他動運動を行う際の抵抗感から主観的・定性的に分類あるいは段階付けをして判定する方法¹⁹⁾が一般的である。筋stiffnessの主観的な評価方法としては他動運動の抵抗感を段階付けするModified Ashworth Scale¹⁾²⁾²⁰⁾が、筋stiffnessの定量的な方法としては膝関節伸筋の筋stiffnessの判定方法として下腿を重力という外力で関節運動に回転運動をさせてその関節運動の軌道を観察する振り子テスト(pendulum test)³⁾⁴⁾¹⁰⁾¹³⁾¹⁴⁾¹⁸⁾²³⁾が有用な方法として従来から臨床現場で用いられている。

上記計測方法は筋stiffnessの評価の手段として開発されたが、関節を他動的に運動させる際には筋のみではなく関節の構造及び関節周囲の軟部組織の要因の総和が関節運動の抵抗感を規定しており、この他動運動に対する抗力の大きさの総和は関節トルクとして表現する事が可能である。関節の他動運動の際の関節トルクに関与する要因としては筋の柔軟性、関節周囲の靭帯や関節包などの軟部組織の柔軟性、そして関節自体の構築学的な要因が挙げられる²⁴⁾。筋の柔軟性はactinとmyosinの滑走による収縮性の要素と筋膜および腱における弾性要素が複合したものであり、筋自体の柔軟性はcomplianceと呼ばれ、その逆数がstiffnessである²⁴⁾。

他動運動における関節トルクの計測方法として田中ら²⁵⁾やGoeken & Hof⁶⁾が実施した方法がInstrumental Straight Leg Raising(ISLR)である。これは器具を用いて一定の力で関節可動域(以下ROM)の最終域までStraight Leg Rising(SLR)を行い、股関節の関節トルクを計測して筋stiffnessを推定するものである。しかしこの方法では特殊な器具を使用するため経済的・時間的コストの観点から臨床現場での使用には困難がある。

近年、理学療法の臨床現場ではtransducerを内蔵した徒手筋力検査器具が普及しつつある¹⁹⁾。これは関節の自動運動時に徒手筋力検査法¹¹⁾に定義される徒手抵抗部位にこの器具を当てて主動筋に等尺性収縮を行わせる事によって生体からの抗力を測定し、被検者の筋力を推定するものである。今回の研究ではこの器具を用いて他動運動時の関節の抗力を測定し、この数値を用いて他動運動における関節トルクを算出する方法を提案した。計測方法は関節トルクの従来の $\Delta \text{torque increment} / \Delta \text{joint angle increment}$ で表現されるstiffnessの算出方法⁶⁾²⁵⁾を単純化し、他動運動時の関節トルクの最大値を計測指標とする計測方法を臨床的な計測方法として考案した。この方法の有用性が確認できれば従来のISLRの計測方法における複雑な器具を用いずに安価で機動性のある、一般に普及している器具の使用による臨床現場における関節トルクの簡便な計測が可能となる事が予想される。従って今回の研究では簡便に他動的関節トルクを測定する上記の計測方法についてその検者内信頼性・妥当性・治療への反応性を評価した。

II 方法

A. 測定

対象は身体に運動障害を持つ特別養護老人ホーム入所者9例とした。年齢は 80.7 ± 11.0 才であった。対象の診断名の内訳は痴呆症5例、脳梗塞3例およびパーキンソン症候群1例であった。

関節トルクを計測する器具(以下、測定器具)としてはHOGAN社製の徒手筋力検査器具MicroFETを使用した。この器具はTransducerを内蔵し、センサー部分の面に垂直にかかる力を0Nから445Nの範囲で0.9Nの解像度で計測が可能である(Fig. 1)。

被検者には背臥位の肢位をとらせて測定した。測定対象関節は両側の肘関節とした。測定は臨床経験12年の理学療法士1名が被検者の肘関節を保持し、測定器具を手関節前面に当てて肘関節を最終域と感じる場所まで肘伸展方向へ押し、その時の手関節からの反作用の力の最大値を測定・記録した(Fig. 2)。また、肘関節他動運動におけるモーメントアームの長さを測定する目的で肘関節前面と手関節前面の距離(d)をメジャーを用いて測定した。測定は3回を1セットとして実施し、測定は数日を隔てて2

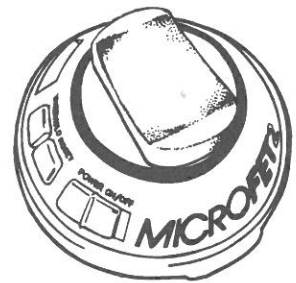


Fig.1 Portable transducer utilized for the present experiment.

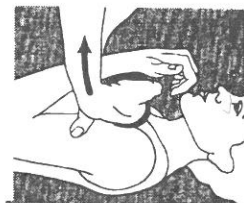


Fig. 2 Illustrated explanation of the measurement of the joint torque. An arrow in the figure indicates the direction of passive force applied.

セット行った。

先に述べた2度にわたる測定に加え、治療介入後における上記数値についても測定した。治療介入は先行研究においてb抑制等の活動により筋の活動が抑制され、それにより筋のstiffnessの弾性要素が低下し、従って他動運動における関節トルクを減少させる介入手段である事が確認されている¹⁵⁾¹⁶⁾¹⁷⁾²¹⁾伸張対象となる筋の腱に対する圧迫を実施した。具体的には肘関節を他動的に伸展する際にその抗力を発生させる上腕二頭筋の腱に対して圧迫を徒手にて加える事により筋のstiffnessを抑制した。

B 解析

1回の試行で得られた3つの測定値の中央値を代表値(f)とし、このfに先述のdを乗算して関節トルク(joint torque; JT)を算出した。計測方法の検者内信頼性の評価として1日目に測定・算出されたJT(JT1)と2日目に測定・算出されたJT(JT2)の間のピアソン相関係数を算出した。また、計測方法の妥当性は関節Stiffnessの指標のひとつであるROMとのJTの相関係数を算出する事により推定した。

治療への反応性の評価としては治療介入しないJT1とJT2の間でJT値に変動が少なく、JT1と治療介入した後(JTT)の間でJT値に変化が観察されれば、これを証明できるものとして実施した。具体的には治療介入をしない場合の2回のJT間の差、つまりJT1とJT2の差およびJT1に対する治療介入後のJTの差について対応のあるt検定を行い、更にJT1と比較してJT2とJTTが数値が小さくなる確率についてカイ二乗検定を行った。

III 結果

A. 測定された他動運動に対する抗力(f)

1日目の測定では対象より右上肢データ7関節、左上肢データ7関節について測定値fを得、その値よりJT1を算出した。種々の理由により他動運動が不可能であった2関節については測定の対象から除外した。1日目のfの平均値は 24.8 ± 16.4 Nであり、この時の3回の測定値fの変動係数(Coefficient of Variance; CV)は $11.3 \pm 8.0\%$ であった。

B. 他動的関節トルク(JT)

JT1は 5.4 ± 3.5 Nmであった。Fig. 3に各関節のJT1の数値を中枢神経疾患群と痴呆症群に分類して示す。疾患別ではJT1は中枢神経疾患(脳梗塞およびパーキンソン症候群)の4例6関節の平均値 5.0 ± 4.1 Nmと痴呆症の5例8関節の平均値 5.5 ± 3.2 Nmとなり、両者の間に有意差はなかった。パーキンソン症候群の1症例1関節のJT1は12.4 Nmと測定した全関節中最も大きい値となった。またJT1の対象者の年齢との相関は $r=-0.18$ と有意な相関は観察されなかった。

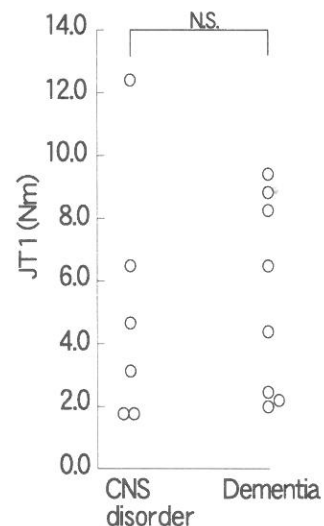


Fig. 3 joint torques in the subjects with central nervous disorder or the subjects with dementia.

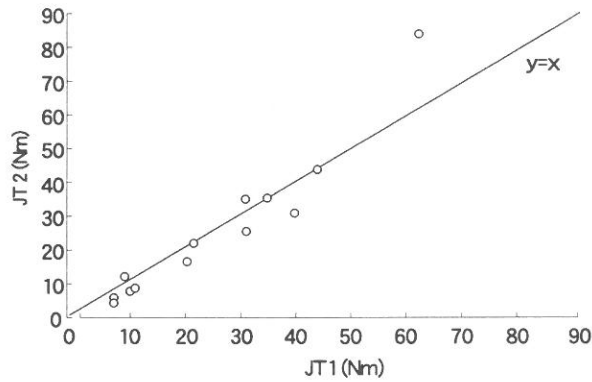


Fig.4 Correlation of the joint torque between JT1 and JT2.

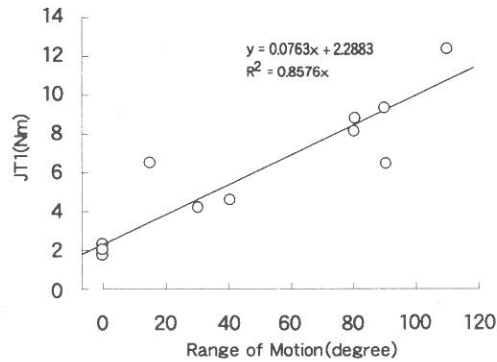


Fig.5 Correlation between JT1 and ROM.

C. JTの検者内信頼性および妥当性

JT2は上記14関節の内13関節より測定が可能であった。JT1とJT2の関係はFig. 4の散布図に示す。ピアソン相関分析の結果、JT1とJT2の間に $r=0.95$ の有意な相関($P<0.01$)があった。ROMの計測は上記

14関節中13関節で計測ができたのでROMとJT1の相関はこの13関節で解析した。Fig. 5にはJT1とROMの関係を表す散布図を示す。ROMとJT1の間には $r=0.89$ の有意な相関($P<0.01$)があった。

D. 治療介入へのJTの反応性

治療介入へのJTの反応性は右上肢データ7関節、左上肢データ6関節について解析した。Fig. 6にJT1とJTT間の対

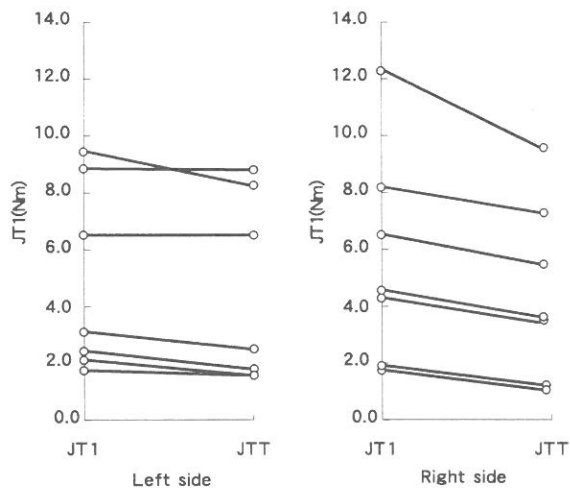


Fig. 6 Changes in the joint torque due to therapeutic intervention.

象毎の値を示す。JTTの値はJT1の値の $81.9 \pm 11.2\%$ であった。JT値t検定の結果、有意にJTTはJT1よりも小さい値となった($P < 0.01$)。治療介入時にJT1よりもJTが小さくなったのは13関節中JT1と同じ数値であった1関節を除いた12関節であった($P < 0.01$)。これに対し治療介入をしない場合、つまりJT1とJT2では有意なJT値の差は観察されなかった。

IV 討論

今回の実験の結果、同一検者が異なる日に測定した2つのJT間には有意な強い相関が観察された。この結果は、同一検者により同一対象について測定された複数のJTの再現性を示しており、今回の他動運動における関節トルクの計測方法の高い検者内信頼性を示すものと考えられた。また他動運動における関節トルクを間接的に計測する方法である肘関節ROMテストの検者内信頼性を示す2回の測定値間の相関が0.90とされた先行研究の結果⁵⁾²²⁾と比較しても今回の計測方法はROMテストと同程度の検者内信頼性があることが示唆された。

JT1とROMの間にも有意な強い相関が観察された。ROMを規定する要因は関節トルクと同様に筋の柔軟性・関節の構築学的要因・関節周囲の軟部組織の要素が複合したものであり²⁴⁾、従って関節stiffnessがこのROMを間接的に規定している事になる。この事よりJT1とROMの間の強い相関があるという今回の結果は紹介した計測方法が他動運動における関節トルクの程度を代表しているという測定値の妥当性を示すものと考えられた。

治療を加えずに異なる測定日に測定した2つのJT間には統計的に有意な差は観察されなかったが、JT1に対するJTTの値は有意に小さくなる傾向が観察された。これは治療介入しない場合の測定値の安定性と治療介入を行った場合の測定値の反応性を示しており、これにより今回の計測方法が治療介入に対する十分な反応性を持つ事が確認された。これらの結果より、理学療法場面においては他動運動における関節トルクの指標として今回の計測の有用性が確認された。用途としては筋stiffnessの評価及び理学療法介入効果の判定への使用が考えられた。

今回の実験では検者間信頼性については確認していない。今回の計測方法は最終域での力の加え具合などの検者の手技の個人差に大きく影響を受ける事が予想されるため検者間信頼性は検者内信頼性よりも低くなる可能性が高い。ROMテストの信頼性の検定においても検者内と比較して検者間信頼性は低くなる結果が先行研究でも報告されている²²⁾。今回の計測方法では関節トルクにかかわらず検者による他動運動負荷を強めるほど今回のJT値は大きくなると予想されるので、複数のJT値を比較するのに複数の検者がかかわる場合、その負荷の大きさを検者間で統一する訓練を施す必要があるであろうと考える。

また、今回の実験では被検者は施設入所の運動障害を持つ高齢者とした。従ってその対象の内訳は慢性期の中枢神経疾患患者と痴呆性疾患患者が混在するものとなった。脳梗塞患者の場合、他動運動における関節トルクを高める大きな要因が痙縮であるが、これに対してパーキンソン症候群の場合には固縮が原因となり¹²⁾、痴呆疾患の場合には廃用性症候群による拘縮が大きな原因となり¹²⁾、疾患毎に

関節トルクの変動要因が異なる。しかし、今回の計測ではこれらの疾患毎の特徴を表す数値の差異は観察されなかった。痙縮の場合関節運動開始時に抵抗が大きく、固縮の場合には全可動域で一定の抵抗、関節拘縮では最終域でゆるやかな抵抗値の上昇を示すなど、他動運動中の全可動域を通した関節トルクの動態に特徴が現れると考えられる。従って他動運動の可動域全般についての関節トルク曲線を情報として得る事ができれば疾患毎の定性的評価も可能であろうと思われるが、現状ではこれを行おうとすると機器が大がかりとなるため、これについては臨床的な簡便性とのかねあいで検討しなければならないものとする。

V 結論

本研究では臨床現場において他動的関節トルクを簡便に計測する方法を提案した。実験の結果、この計測方法の検者内信頼性・妥当性・治療への反応性は十分保証されていることが確認され、従ってこの計測方法の臨床での使用の有用性が示唆された。用途としては臨床現場における中枢神経疾患の筋stiffnessの定量的な評価等に使用できる可能性がある。今後は肘関節以外の関節におけるこの計測方法の適用の可否や疾患による有用性の差異などを検討する必要がある。

参考文献

- 1) Ashworth B. (1964) Preliminary trial of carisoprodol in multiple sclerosis. *Practitioner*, 192, 540-542.
- 2) Bohannon RW, Smith MB(1987) Interrater reliability of a Modified Ashworth Scale of muscle spasticity. *Phys Ther*, 67(2), 206-207.
- 3) Bohannon RW (1987) Variability and reliability of the pendulum test for spasticity using a Cybex 2 isokinetic dynamometer. *Phys Ther*, 67(5), 659-661.
- 4) Brown RA, Lawson DA, Leslie GC et al. (1988) Does the Wartenberg pendulum test differentiate quantitatively between spasticity and rigidity? A study in elderly stroke and parkinsonian patients. *NeurolNeurosurgPsychiat*, 51, 1178-1186.
- 5) Gajdosik RL, Bohannon RW (1987) Clinical measurement of range of motion. *Phys Ther*, 67(12), 1867-1872.
- 6) Goeken LN, Hof AL (1991) Instrumental straight-leg raising: A new approach to Lasegue's test. *Arch Phys Med Rehabil*, 72, 959-966.
- 7) Halbertsma JPK, Goeken LNH (1994) Stretching exercise: Effect on passive extensibility and stiffness in short hamstrings of healthy subjects. *Arch Phys Med Rehabil*, 75, 976-981.
- 8) Halbertsma JPK, Goeken LNH (1996) Sport stretching: Effect on passive muscle stiffness of short hamstrings. *Arch Phys Med Rehabil*, 77, 688-692.
- 9) Halstead LS, Seager SWJ, Houston JM et al. (1993) Relief of spasticity in SCI men and women using rectal probe electrostimulation. *Paraplegia*, 31, 715-721.

- 10) 平岡浩一、秋山稔、渡部政幸・他 (1996) CYBEX6000を用いた痙性評価の検者内信頼性および妥当性の検討. PTジャーナル, 30(2), 129-132.
- 11) Hishop HJ, Montgomery J, Connelly B et al. (1995) Daniels and Worthinghams Muscle Testing: Techniques of Manual Examination. Saunders.
- 12) 福井罔彦・他 (1984) リハビリテーション神経学. 医歯薬.
- 13) Katz RT, Rovai GP, Brait C et al. (1992) Objective quantification of spastic hypertonia: Correlation with clinical findings. Arch Phys Med Rehabil, 73, 339-347.
- 14) Krawetz P, Nance P (1996) Gait analysis of spinal cord injured subjects: Effects of injury level and spasticity. Arch Phys Med Rehabil, 77, 635-638.
- 15) Kukulka CG, Beckman SM, Holte JB et al. (1986) Effects of intermittent tendon pressure on alpha motoneuron excitability. Phys Ther, 66(7), 1091-1094.
- 16) Kukulka CG, Fellows WA, Oehlert JE (1985) Effect of tendon pressure on alpha motoneuron excitability. Phys Ther, 65(5), 595-600.
- 17) Leone JA, Kukulka CG (1988) Effects of tendon pressure on alpha motoneuron excitability in patients with stroke. Phys Ther, 68(4), 475-480.
- 18) Lin DC, Rymer WZ (1991) A quantitative analysis of pendular motion of the lower leg in spastic human subjects. IEEE Trans Biomed Eng, 38(9), 906-918.
- 19) 松澤正 (1993) 理学療法評価法 (第2版). 金原出版.
- 20) Penn RD, Savoy SM, Corcos D et al. (1989) Intrathecal baclofen for severe spinal spasticity. N Engl J Med, 320, 1517-21.
- 21) Robinson KL, McComas AJ, Belanger AY (1982) Control of soleus motoneuron excitability during muscle stretch in man. J Neurol Neurosurg Psychiatr, 45, 699-704.
- 22) Smith JR, Walker JM (1983) Knee and elbow range of motion in healthy older individuals. Phys Occup Ther Geriatr, 2(4), 31-38.
- 12) 福井罔彦・他 (1984) リハビリテーション神経学. 医歯薬
- 23) Stillman B, McMeeken J (1995) A video-based version of the pendulum test: Technique and normal response. Arch Phys Med Rehabil, 76, 166-176.
- 24) 高橋秀寿、岡島康友、千野直一 (1998) 筋のstiffnessの定量的評価と臨床的意義. リハ医学, 35(6), 427-432.
- 25) 田中尚文、岡島康友、瀧昌也・他 (1998) 関節可動域訓練の他動的関節トルクに対する影響. リハ医学, 35(7), 491-495.

1999年11月 1 日 受付

1999年12月22日 受理